

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 16 日現在

機関番号：32665

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24760324

研究課題名(和文)磁気表面プラズモン効果の起源解明とナノ分解能高速プラズモニック磁気センサへの応用

研究課題名(英文)Origin of magnetic effect of surface plasmon and its application for ultra-fast magnetic sensor in nano-scale

研究代表者

芦澤 好人 (ASHIZAWA, Yoshito)

日本大学・理工学部・助教

研究者番号：10453911

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円、(間接経費) 1,020,000円

研究成果の概要(和文)：表面プラズモンを用いた新規磁気センサを開発することを目的とし、1)表面プラズモンの磁気応答現象の起源解明、2)表面プラズモンの磁気応答特性向上、及び3)表面プラズモン導波路を用いた高効率光信号伝送技術の確立を行った。貴金属中に磁性金属が分散する構造のAg-Co薄膜を用いることにより、膜厚制御により表面プラズモンの励起条件を容易に制御し、単層において高い磁気応答性の導出に成功した。

研究成果の概要(英文)：For development of a new magnetic sensor based on surface plasmon phenomenon, we studied 1) clarifying an origin of magnetic response of surface plasmon, 2) achieving good response of surface plasmon magnetically, and 3) establishing a surface plasmon waveguide technique. Higher value about magnetic response of surface plasmon was obtained using a Ag-Co single layer film, which had a structure that Co particles were dispersed in Ag matrix. A generation condition of surface plasmon in Ag-Co film was easy to be controlled by its film thickness, because the Ag-Co single film contained both surface plasmon generation material, Ag, and ferromagnetic material, Co, in single layer.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・計測工学

キーワード：センシングデバイス 表面プラズモン

1. 研究開始当初の背景

いつでもどこでも誰とでもユビキタスに大容量の情報を扱うことが可能な情報爆発時代では、セタバイト級の情報が世界中を行き交うため、大容量超高速情報伝送システムに対応する超低消費電力・大容量・超高速記録再生ストレージデバイスの実現が必要不可欠である。

磁気ストレージの高記録密度化においては、記録ビットの縮小化により発現する熱擾乱現象の抑制が必要不可欠であり、パターン媒体と呼ばれる記録媒体及び光アシスト磁気記録方式などの記録方式について、国内外を問わず企業や大学が競って検討を重ねている。一方、超高速記録再生化においては、スピンの角運動量を有するために強磁性体に存在し、高速化の上限となっている強磁性共鳴周波数を超える新たな原理が必要となる。記録においてはオランダの C. D. Stanciu らにより報告された光誘起磁化反転現象を活用する研究が活性化している。しかし、超高速再生技術すなわち磁気センシング技術においては、この強磁性共鳴限界に対する打開策がまったく見出されていない。再生技術が高速化のボトルネックとなるため、早期に新たな高速再生の手法を確立することが極めて重要である。

近未来の記録再生方式を総合的に考えると、記録方式では、光アシスト磁気記録方式においても光直接磁化反転記録においても、“光”を用いる技術が必須となるため、再生においても“光”を利用する技術が極めて重要になると予想される。

申請者は、これまでに表面プラズモン励起層と磁気制御層とに機能を分離した薄膜構成を用いることにより、表面プラズモンの共鳴状態が、外部磁界によってその状態を変化させる現象の導出に成功し、薄膜試料への磁界印加方向により磁気表面プラズモン効果の大きさが異なる現象を見いだしている。しかしながら、現時点では適切な材料探索や具体的なデバイス設計には至っておらず、今後原理検証実験から、特性を改善する材料探索に発展し、さらに信号強度の増大と、磁界に対して高感度化を行う必要がある。

2. 研究の目的

本研究では、強磁性体の強磁性共鳴周波数よりも遥かに高い周波数で応答可能で、かつ、微小領域情報を検出可能な磁気センサの開発に向け、表面プラズモンを用いた新規原理に基づく磁気センシング技術を開発することを目的とする。

これまでに申請者が見出した表面プラズモンの磁気応答現象を発展させ、(1) 磁気応答現象の起源解明、(2) 表面プラズモンの磁気応答特性向上、及び(3) 表面プラズモン導波路を用いた高効率光信号伝送技術の確立を目指す。

本現象を用いた超高速磁気センサを実用

化するため、本研究における第1の目的は、磁気表面プラズモン共鳴現象の発現機構を解明することである。現在は巨大磁気応答性を示す薄膜構成や材料に関し、まったく指針のない状態であるため、磁気応答性の起源を明らかにすることで、磁気応答特性向上の指針を得る。第2の目的は、表面プラズモン共鳴の磁気応答特性を向上することにある。そのためには、信号変化率 R の増大に加え、磁界検出感度の向上も必要である。第3の目的は、表面プラズモン導波路を用いた高効率伝送手法を確立することである。高空間分解能な微小センサを実現するためには、コンパクトで効率的な光入射が必要であるため、低損失なプラズモン導波路を事前に設計する必要がある。

3. 研究の方法

(1) 発現機構の解明として、一軸磁気異方性を示す材料を用いて磁気表面プラズモン共鳴現象の起源を探る。磁化容易軸を薄膜法線方向及び薄膜表面方向に揃えることで、磁界印加方向に対する磁気表面プラズモン共鳴効果の相違を検出し、上記誘電率成分の差と磁気表面プラズモン共鳴現象との相関を明らかにする。

(2) 表面プラズモン共鳴の磁気応答性の向上として、これまでに申請者が見出した磁気表面プラズモン共鳴効果は、信号変化率が18%程度であり、さらなる特性の向上が必要となる。本現象の起源は明らかではないが、外部磁界による薄膜材料の誘電率変化により誘起されていると推察される。そこで、薄膜材料の誘電率分散特性を活用し、高感度な波長を用いることによる磁気表面プラズモン効果の増大を検討する。申請者が観測した磁気表面プラズモン現象は、Co/Cu 多層薄膜に対して波長 680 nm の光を用いた実験において観測されている。そこで白色分光光源を用い、可視光の波長領域 (400 - 800 nm) において、磁界挿引全反射減衰 (ATR) 測定を行うことで磁気表面プラズモン現象の検討を行う。材料の磁気光学特性の評価を行うことで、試料の誘電分散特性と磁気表面プラズモン効果との相関を見出す。

(3) 表面プラズモン導波路を用いた高効率光信号伝送技術として、極微小領域のセンシングにおいて高い信号強度を得るためには、表面プラズモンセンサ部まで効率よく光を導くための導波路構造についても併せて検討することが重要となる。通常の光導波路では光の回折限界により、数十 nm サイズまで光を集光させることは困難であるため、表面プラズモンを活用した導波路構造を新たに設計することが必須である。そこで、材料面および構造面から FDTD 法を用いたシミュレーションにより低損失高集光プラズモン導波路を検討する。

4. 研究成果

(1) 発現機構の解明

磁気応答現象の起源解明に向けた表面プラズモン励起層と磁気制御層とに機能を分離した多層薄膜構造における検討において、磁気制御層の磁性材料に Co-Ni 相を用いた一原子あたりの電子数と表面プラズモンの磁気応答性との相関を検討した。本 Co-Ni 薄膜においては Co 相から Ni 相まで広組成範囲において面心立方構造の不規則構造を有し、飽和磁化も連続的に変化するため、同一の膜厚の磁気制御層を作製することにより、負の一軸磁気異方性を連続的に変化可能である。

表面プラズモン励起層には Cu を用いた。磁気応答性を評価するとき用いる Cu/Co_xNi_{100-x}/Cu 三層膜の共鳴曲線の形状は金属薄膜の各層の膜厚によって決まるため、最適膜厚を探るために必要なパラメータが多くなる。そこで、下地として積層する Cu 膜厚の最適膜厚を探索・決定し、薄膜構成を Glass/Cu(20)/Co_xNi_{100-x}(5)/Cu(5) 三層膜とした。成膜した Co_xNi_{100-x} の組成比は Co₉₀Ni₁₀, Co₅₀Ni₅₀, Ni ($x = 100, 90, 50, 0$) である。試料を作製したスパッタ法ではどの組成比でも fcc 構造となると考えられるが、hcp 相が形成された際にその影響も比較検討ができるように Co₉₀Ni₁₀ を用いた。

作製した試料を全反射減衰法による波長 700 nm での測定を行った。磁界は 400 mT を膜面垂直方向の試料からプリズムへ向かう方向 (+方向) に印加した。作製した試料における全反射減衰法による反射率曲線は、組成により共鳴曲線の形状に変化が生じていたものの、いずれも吸収の大きい光学特性を示しており、期待する表面プラズモン特性に至っていないことが課題となった。この時、磁気応答性はいずれも観察されなかった。Co-Ni 相においては可視光における吸収が大きく、単相では十分に表面プラズモンの励起が行えないため、表面プラズモン励起層との層構成の最適化が重要である。今回作製した試料においては、積層構造においても単相と同様の傾向である吸収の大きい光学特性が得られており、薄膜の成長条件の検討により表面平坦性の悪い粒状成長ではなく層状に成長させることが有用だと考えられる。

(2) 表面プラズモン共鳴の磁気応答性の向上

磁気応答特性が得られていないことから、新たな試料構成について検討を行った。従来の貴金属/磁性金属の多層構成では貴金属層の膜厚だけでなく、磁性金属層の膜厚及び全膜厚が表面プラズモン励起の条件に寄与するため、最適化が複雑化する。そこで、膜厚調整の容易な単層において表面プラズモンを励起し、かつ、磁気応答特性を示す材料系を検討した。選出した材料は、貴金属と磁性金属がマトリックス状態で混在する材料

系 Ag₇₅Co₂₅, Cu₇₅Co₂₅ 単層薄膜である。

膜厚による表面プラズモン励起条件の制御を確認した。種々の膜厚の Ag₇₅Co₂₅ 薄膜の全反射減衰法における反射率を図 1 に示す。膜厚により最大値と最小値の差が変化し、35 nm のときに最大の反射率差が得られた。この膜厚 35 nm の試料における可視光波長領域 (405 - 780 nm) における全反射減衰法による測定を行った。全反射減衰法における反射率曲線を図 2 に示す。波長が短波長化するに伴い、反射率の極小値は高角側にシフトした。これら試料の磁気応答特性を確認したところ、図 3 に示すように膜厚 35 nm の Ag₇₅Co₂₅

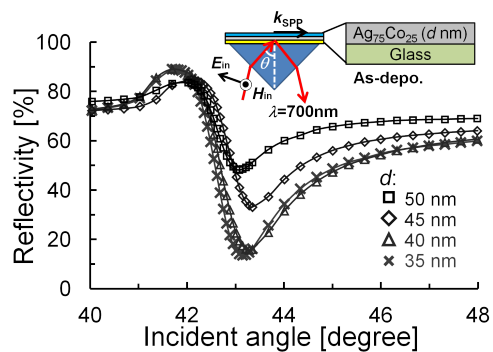


図 1 種々の膜厚の Ag₇₅Co₂₅ 薄膜における全反射減衰法による反射率曲線。

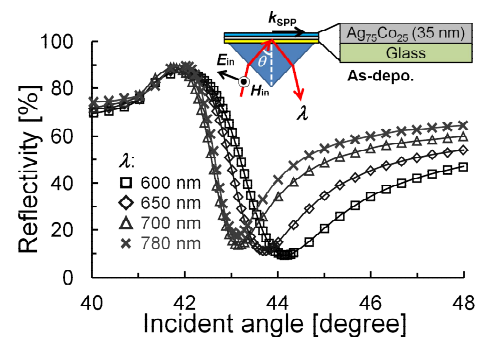


図 2 Ag₇₅Co₂₅ 薄膜における全反射減衰法による反射率曲線。入射波長は 600 ~ 780 nm。

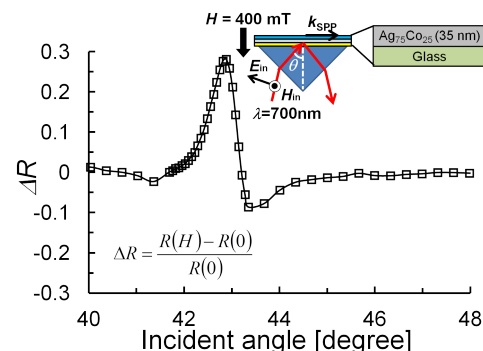


図 3 膜厚 35 nm の Ag₇₅Co₂₅ 試料における磁気応答特性の入射角依存性。入射波長は 700 nm。

薄膜において，700 nm の計測波長において，これまでに報告していた Co/Cu 積層膜の値を上回る ~ 0.29 の磁気応答特性を得た．

(3) 表面プラズモン導波路を用いた高効率光信号伝送技術

熱アシスト磁気記録方式や光誘起磁化反転現象として，光を伝搬型表面プラズモンを用いたのちに局所化する手法については見通しを得ている．一方で，局所化したときの磁気応答特性については今後の検討が必要である．

5. 主な発表論文等

(研究代表者，研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計2件)

- (1) Toru Tachikawa, Yoshito Ashizawa, and Katsuji Nakagawa, “Magnetic Response of Surface Plasmons in $Ag_{75}Co_{25}$ Non-Solid Solution Films”, J. Magn. Soc. Jpn., 査読有. Vol. 38, pp.134-138, 2014.
- (2) Kyosuke Tamura, Yoshito Ashizawa, Shinichiro Ohnuki, and Katsuji Nakagawa, “Design of High Efficient Plasmonic Waveguide and Antenna for Thermally Assisted Magnetic Recording”, J. Magn. Soc. Jpn., 査読有, Vol. 38, pp. 131-134, 2014.

[学会発表](計8件)

- (1) 立川徹, 芦澤好人, 中川活二, “非固溶 $Ag_{75}Co_{25}$ 薄膜における表面プラズモンの励起と磁気応答性の増大”, マグネティクス研究会, MAG-14-4, 2014年3月7日, 名古屋大学.
- (2) 芦澤好人, 立川徹, 成嶋和樹, 中川活二, “表面プラズモンを用いた磁気センサ用材料”, 第11回プラズモニクスシンポジウム, 9:20-9:40, 2014年1月25日, 広島大学東広島キャンパス.
- (3) 成嶋和樹, 立川徹, 芦澤好人, 中川活二, $Cu_{75}Co_{25}$ 薄膜における表面プラズモンの磁気応答性”, 第57回日本大学理工学部学術講演会, M-10, 2013年12月7日, 日本大学理工学部駿河台キャンパス.
- (4) 立川徹, 成嶋和樹, 芦澤好人, 中川活二, “Wavelength dependence on magnetic response of surface plasmons for non-solid solution $Ag_{75}Co_{25}$ films”, 第57回日本大学理工学部学術講演会, C-19, 2013年12月7日, 日本大学理工学部駿河台キャンパス.
- (5) Toru Tachikawa, Kazuki Narushima, Yoshito Ashizawa, and Katsuji Nakagawa, “MAGNETIC RESPONSE OF SURFACE PLASMONS IN NON-SOLID SOLUTION $Ag_{75}Co_{25}$ FILMS”, Magnetism and Optics Research International Symposium (MORIS) 2013,

We-P-13, Dec. 4, 2013, OMIYA SONIC CITY, Saitama, Japan

- (6) 芦澤好人, 立川徹, 成嶋和樹, 中川活二, “磁性/非磁性薄膜における表面プラズモンの磁気応答”, 磁気記録・情報ストレージ研究会 (MR), MR(9), 2013年11月15日, 早稲田大学.
- (7) 立川徹, 伊坂公志, 芦澤好人, 中川活二, “ $Ag_{75}Co_{25}$ グラニューラ薄膜における表面プラズモンの磁気応答性の熱処理温度依存性”, 日本磁気学会学術講演会, 3aF-3, 2013年9月3日, 北海道大学.
- (8) 芦澤好人, 篠原周作, 名和田毅, 中川活二, “超高速磁気情報センサにむけた Co/Cu 磁性薄膜における表面プラズモンの磁気応答性”, 第9回 Cat-CVD 研究会, OS-15, 2012年6月23日, 日本大学津田沼キャンパス.

[その他]

ホームページ等

<http://kenkyu-web.cin.nihon-u.ac.jp/Profiles/75/0007413/profile.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

芦澤 好人 (ASHIZAWA, Yoshito)

日本大学・理工学部・助教

研究者番号: 10453911